

# Infotag 2019

## Gewässer in Zeiten der Energiewende



# Infotag 2019

## Gewässer in Zeiten der Energiewende

Die Energiestrategie 2050 des Bundes hat zum Ziel, den Energieverbrauch der Schweiz zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen und erneuerbare Energien zu fördern. Auch das revidierte Energiegesetz sieht vor, Wasserkraft und andere erneuerbare Energieträger zu stärken.

Die Nutzung unserer Gewässer zur Stromproduktion, für die Energiespeicherung und zum Heizen und Kühlen beeinflusst jedoch die Wassertemperatur sowie den Wasser-, Geschiebe- und Feststoffhaushalt und damit die Lebensgemeinschaften in den Gewässerräumen. Für viele Wasserorganismen stellen Wasserkraftwerke ausserdem unüberbrückbare Hindernisse dar. Am Eawag-Infotag werden die Auswirkungen der Energienutzung auf die Gewässer aufgezeigt und Möglichkeiten diskutiert, wie die Ansprüche der Gewässer besser berücksichtigt werden könnten.

# Programm

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| <b>9.30</b>        | <b>Begrüssung</b><br>Prof. Dr. Janet Hering, Direktorin der Eawag   |           |
| <b>9.40–9.55</b>   | <b>Einleitung und Moderation</b><br>Prof. Dr. Bernhard Wehrli, Abteilung Oberflächengewässer, Eawag<br>Prof. Dr. Bernhard Truffer, Abteilung Umweltsozialwissenschaften, Eawag  |           |
| <b>9.55–10.15</b>  | <b>Was kann die Schweizer Wasserkraft zur Energiestrategie 2050 beitragen?</b><br>Dr.-Ing. Klaus Jorde, Forschungsprogramm Wasserkraft, Bundesamt für Energie   | <b>04</b> |
| <b>10.15–10.35</b> | <b>Ökologische Auswirkungen der Kleinwasserkraft</b><br>Dr. Katharina Lange, Abteilung Oberflächengewässer, Eawag   | <b>05</b> |
| <b>10.35–11.00</b> | <b>Kaffeepause</b>  |           |
| <b>11.00–11.20</b> | <b>Potenzial von Wasserspeichern zur Verminderung von Wasserknappheit</b><br>Dr. Manfred Stähli, Gebirgshydrologie und Massenbewegungen, WSL  | <b>06</b> |
| <b>11.20–11.40</b> | <b>Wie gut eignen sich Seen als Zwischenspeicher für elektrische Energie?</b><br>Dr. Martin Schmid, Abteilung Oberflächengewässer, Eawag  | <b>07</b> |
| <b>11.40–12.10</b> | <b>Akzeptanz erneuerbarer Energie</b><br>Prof. Dr. Karin Ingold, Abteilung Umweltsozialwissenschaften, Eawag und Institut für Politikwissenschaft, Uni Bern<br>Dr. Ivana Logar, Abteilung Umweltsozialwissenschaften, Eawag | <b>08</b> |
| <b>12.10–12.30</b> | <b>Diskussion</b>   |           |
| <b>12.30–13.45</b> | <b>Mittagessen</b>  |           |
| <b>13.45–14.10</b> | <b>Sanieren, revitalisieren – gemeinsam durch Planung und Umsetzung</b><br>Dr. Christine Weber, Abteilung Oberflächengewässer, Eawag  | <b>09</b> |
| <b>14.10–14.35</b> | <b>Restwassersanierung und Sanierung Wasserkraft im Oberhasli</b><br>Dr. Steffen Schweizer, KWO Kraftwerke Oberhasli AG   | <b>10</b> |
| <b>14.35–15.00</b> | <b>Kaffeepause</b>  |           |
| <b>15.00–15.20</b> | <b>Energie in Kläranlagen – Beispiel Klärwerk Werdhölzli</b><br>Dr. Christian Abegglen, Klärwerk Werdhölzli, Entsorgung und Recycling Zürich  | <b>11</b> |
| <b>15.20–15.50</b> | <b>Potenzial und Grenzen der Wärmenutzung aus Flüssen und Seen</b><br>Prof. Dr. Alfred Johny Wüest, Abteilung Oberflächengewässer, Eawag<br>Patrik Rust, ewl energie wasser luzern  | <b>12</b> |
| <b>15.50–16.10</b> | <b>Schlussdiskussion und Fazit</b>  |           |
| <b>16.00</b>       | <b>Apéro</b>  |           |



## Was kann der Ausbau der Schweizer Wasserkraft zur Energiestrategie 2050 beitragen?

Der Ausbau der Schweizer Wasserkraft ist ein wichtiges Standbein der Energiestrategie 2050. Ob die Nettoproduktion insgesamt gesteigert werden kann, hängt jedoch stark davon ab, wie sich die Vorgaben für Restwassermengen künftig entwickeln werden. Kompromisse hinsichtlich des Gewässerschutzes scheinen dringend nötig.

Die Energiestrategie 2050 (ES) sieht unter anderem vor, die jährliche Stromerzeugung aus Wasserkraft um etwa acht Prozent zu steigern. Derzeit beträgt diese aus Lauf- und Speicherwasserkraftwerken ca. 36,67 Terrawattstunden (TWh). Dies entspricht etwa 60 Prozent der Stromproduktion in der Schweiz und setzt sich aus 35 Prozent Stromerzeugung aus Speicherkraftwerken und 25 Prozent aus Laufwasserkraftwerken zusammen. Darin enthalten ist auch der Strom aus Pumpspeicherung, für den 4,2 TWh für den Betrieb der Speicherpumpen eingesetzt werden (Stand 2017). Die Erwartungen der ES an die Wasserkraft basieren auf Abschätzungen aus verschiedenen Potenzialstudien und Experteneinschätzungen. Bis 2050 wird unter der Annahme «optimierte Nutzungsbedingungen» eine Steige-

veränderung und erhöhten Anforderungen an den Gewässerschutz. Nach den inzwischen vorliegenden Studien könnten die in Tabelle 1 zusammengestellten Zubaupotenziale realisiert werden. Weiter existieren eine Reihe von kleineren, nicht genau quantifizierbaren Potenzialen, die an Kraftwerken oder Kraftwerksgruppen im Zuge der Neukonzessionierung möglich wären. Dazu gehören Potenziale aus optimierter Betriebsweise (zum Beispiel infolge besserer Abflussvorhersage), Stollenerweiterungen, Turbinen mit höheren Wirkungsgraden und erweitertem Betriebsbereich. Auch Potenziale aus Infrastrukturanlagen – etwa Trink- und Abwasseranlagen – sollen genutzt werden. Ein Zubaupotenzial von mehr als 4 TWh/a wäre in der Schweiz bei entsprechenden Rahmenbedingungen also vorhanden. Berücksichtigt man jedoch weiter erhöhte Restwasserabgaben und andere gewässerökologische Massnahmen, so zeigen neueste Untersuchungen von Pfammatter & Semadeni Wicki (2018), dass es bis 2050 zu erheblichen Produktionsminderungen infolge neuer Restwasserregelungen nach Konzessionserneuerungen kommen könnte. Jeweils bezogen auf das Jahr 2018 ergeben sich je nach Restwasserszenario bis 2050 die in Tabelle 2 zusammengefassten Produkti-

| Potenzial  | Zuwachs [TWh/a] |
|--|-----------------|
| Zubau an bestehenden Niederdruckanlagen (Rhein, Aare, Reuss, Rhone)                  | 0,67            |
| Neue Grosswasserkraftanlagen 0,1 bis 1,0 TWh/a                                       | 1,00            |
| Periglaziale Wasserkraft (neue Talsperren, wo heute noch Gletscher sind)             | 1,11            |
| Erhöhung bestehender Talsperren bewirken nur saisonale Verschiebung                  | 0,00            |
| Neue Kleinwasserkraftwerke bis 10 MW 1,3 bis 1,6 TWh/a, davon 90% aus Anlagen > 1 MW | 1,60            |
| <b>Total</b>   | <b>4,38</b>     |

Tabelle 1: Verschiedene Potenziale zur Steigerung der Stromproduktion aus Wasserkraft in der Schweiz. Die Zahlen stammen aus verschiedenen Studien der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich im Rahmen der SCCER-SoE Projekte.

ung um etwa 3,16 Terrawattstunden pro Jahr (TWh/a) erwartet. Erhöhte Restwasserabgaben wurden mit Verlusten von 1,4 TWh/a berücksichtigt, sodass insgesamt ein zusätzliches Potenzial von 4,56 TWh/a zu erschliessen wäre. Die Abschätzungen unter «heutigen Nutzungsbedingungen» ergaben einen möglichen Zuwachs von 1,53 TWh/a. Der Unterschied zwischen «heutigen» und «optimierten» Nutzungsbedingungen bezieht sich in erster Linie auf die Abwägung zwischen Schutz- und Nutzungsinteressen. Woher diese Potenziale tatsächlich kommen könnten und unter welchen Um-

onseinbussen. Zieht man die potenziellen Produktionseinbussen aus Tabelle 2 vom möglichen Zubaupotenzial aus Tabelle 1 ab, so ergibt sich, dass die aufgezeigten Produktionssteigerungen durch erhöhte Restwasserabgaben kompensiert werden könnten. Selbst die heutige Produktionsmenge wäre nicht unbedingt sichergestellt. Die Schweizer Wasserkraft ist aufgrund der natürlichen Potenziale in der Lage, die zusätzlich erwarteten Beiträge zur Energiestrategie 2050 in Höhe von ca. 3,16 TWh/a zu liefern. Um dies zu realisieren, sind aber weitgehende Kompromisse hinsichtlich des Gewässerschut-

| Angesetztes Kriterium (GSchG Art. 31-33)            | Produktionsverlust gesamt [TWh/a] |
|---|-----------------------------------|
| Anforderungen wie bisher                            | 2,28                              |
| Erhöhte Anforderungen an Wassertiefe Fischwanderung | 2,52                              |
| Erhöhte Anforderungen für Auenschutz                | 3,65                              |
| Simultan-dynamische Dotierung                       | 6,41                              |

Tabelle 2: Abschätzung der möglichen Produktionseinbussen infolge erhöhter Restwasserregelungen nach Neukonzessionierung für Wasserkraftanlagen in der Schweiz bis 2050 (vgl. Pfammatter und Semadeni Wicki, 2018)

ständen sie realisierbar sind, gehört zu den zentralen Fragestellungen an das Schweizer Kompetenzzentrum für Energieforschung im Bereich Strombereitstellung. Wasserkraftbetreiber in der Schweiz und auch in Europa kämpfen seit Jahren mit niedrigen Strompreisen am Strommarkt, den vielfältigen Einflüssen infolge der Klima-

zes, auch in Schutzgebieten, erforderlich. Das bedeutet, dass einerseits weitere Forschungsarbeiten zur Klärung offener Fragen notwendig sind, andererseits aber dringend mit konkreten Planungen und Umsetzungen begonnen werden muss, um die erwarteten zusätzlichen Potenziale zur richtigen Zeit liefern zu können.



## Ökologische Auswirkungen der Kleinwasserkraft

In Fließgewässern entstehen immer mehr Kleinwasserkraftwerke, auch in der Schweiz. Deren Auswirkungen auf das Leben im Fluss sind aber noch kaum erforscht. Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Auswirkungen der Kleinwasserkraft im Vergleich zur Grosswasserkraft pro produzierte Gigawattstunde Strom sogar höher sind.

Die Energiestrategie sieht vor, einen beträchtlichen Teil des Wasserkraftausbaus über die Förderung von Kleinkraftwerken zu erreichen, insgesamt 1,3 bis 1,6 Terrawattstunden pro Jahr. Als klein gelten in der Schweiz Kraftwerke mit einer Leistung von weniger als zehn Megawatt. Zahlenmässig machen solche Anlagen mit über siebenzig Prozent bereits heute den Hauptteil unserer Wasserkraftwerke aus. Sie kommen jedoch nur für rund zehn Prozent der Energieproduktion durch Wasserkraft auf. Deshalb braucht es für eine markante Produktionssteigerung viele kleine Anlagen, was viele Fließgewässerabschnitte ökologisch beeinflussen wird. Die Frage ist: Haben kleine Kraftwerke in kleinen Gewässern auch kleine Effekte?

### Wenig untersucht

Trotz weltweiter Beachtung und massivem Zubau sind Kleinwasserkraftwerke erstaunlich wenig untersucht. Die meiste Literatur bezieht sich auf grosse Kraftwerke. Hingegen bestehen für Kleinwasserkraftwerke einzelne Fallstudien, aber kaum systematische Untersuchungen.

Das bestätigt unsere Literaturanalyse, die darlegt, dass insgesamt nur 73 Kleinwasserkraftanlagen genauer untersucht wurden. Die meisten Studien zeigten, dass die Lebensräume beeinträchtigt werden und die Forellenpopulationen unter Druck geraten. Für andere Organismengruppen waren die Resultate oftmals widersprüchlich und die Einflüsse auf Ökosystemfunktionen wurden nur selten untersucht.



Alpenflüsse werden für die Stromerzeugung verbaut, um Wasser zu sammeln und dieses dann zu einer Turbine zu leiten.

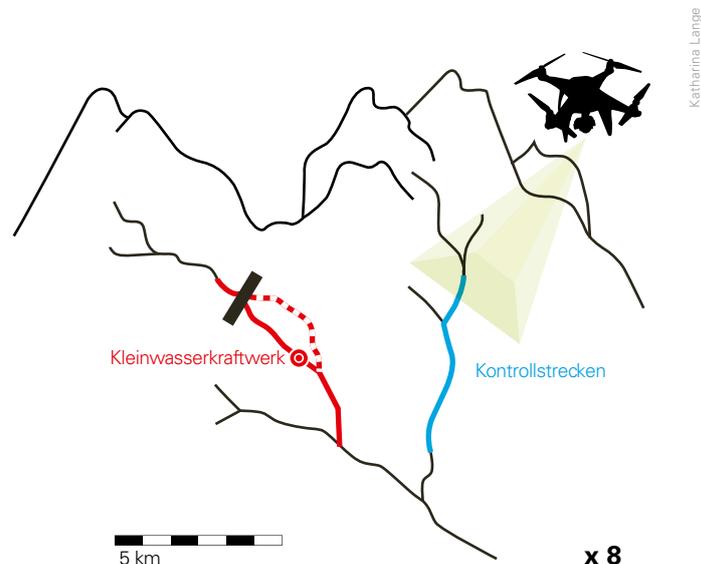
### Auswirkungen messen

Wir haben eine Studie an acht Kleinwasserkraftwerken und acht unbeeinträchtigten Kontrollstrecken durchgeführt. Dabei haben wir uns auf Ausleitkraftwerke konzentriert. Das sind Anlagen mit kontinuierlicher Produktion, bei denen zwischen Entnahme und Rückgabe eine Restwasserstrecke entsteht, in der nur ein Bruchteil des Wassers verbleibt. Restwasserstrecken sind immer in den steilsten Gewässerabschnitten entstanden; die Gewässerabschnitte ober- und unterhalb sind oft flacher. Daher ist es wichtig, die Restwasserstrecken mit unbeeinträchtigten steilen Gewässerabschnitten zu vergleichen.

Invertebraten – kleine Lebewesen, die den Gewässergrund bewohnen – sind der Dreh- und Angelpunkt für das Funktionieren unserer Fließgewässer. Wir konnten zeigen, dass die Anzahl der Invertebraten in Restwasserstrecken um die Hälfte reduziert war. Mit Drohnen haben wir zudem die Auswirkungen auf die Lebensräume in Fließrichtung untersucht. Effekte lassen sich aber nicht nur in Fließrichtung beobachten, sondern auch vom Wasser zum Land. Mit Uferspinnen haben wir die Vernetzung vom Wasser zum Land untersucht, denn diese Spinnen ernähren sich von Invertebraten, welche ihre Larvenstadien am Gewässergrund verbracht haben.

Untersuchungen legen auch nahe, dass die Effekte der Kleinwasserkraft über die Restwasserstrecke hinausgehen können. Viele Einzugsgebiete beherbergen eine grosse Anzahl kleiner Anlagen, deren Auswirkungen sich daher kumulieren können oder auch zum Teil erst nach Jahrzehnten zum Vorschein kommen. Um diese kumulativen und Langzeiteffekte berücksichtigen zu können, sind einzugsgebietsweite Untersuchungen wichtig.

\*ehemalige Mitarbeiterin



Feldstudie zur Ausbreitung von ökologischen Effekten in Längsrichtung – von der Quelle zur Mündung - und in Querrichtung – vom Wasser zum Land.



## Potenzial von Wasserspeichern zur Verminderung von Wasserknappheit

Im Zuge des Klimawandels und mit den damit häufiger auftretenden trockenen Sommern stellt sich die Frage, in welchem Umfang natürliche Seen, Speicherseen und andere künstliche Wasserreservoirs die Wasserknappheit in der Schweiz mildern können. Eine aktuelle Studie zeigt auf, dass das nutzbare Volumen der Seen unter den aktuellen Reglementen mit etwa 3,5 Prozent gering ist. Somit dürfte in Zukunft eine optimierte Mehrfachnutzung von Speicherseen an Bedeutung gewinnen.

Die neuen Klimaszenarien CH2018 sprechen eine klare Sprache: Im Laufe des 21. Jahrhunderts werden die Sommermonate niederschlagsärmer, die abnehmende Schneeschmelze verschiebt sich zeitlich nach vorne in den Frühling und die Gletscher ziehen sich zurück. Als Folge davon sinkt im Sommer das natürliche Wasserdargebot, während die Wassernachfrage mit der Energiestrategie 2050, dem erhöhten landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf und der Bevölkerungsentwicklung zunimmt. Vor diesem Hintergrund zeichnet sich ab, dass es zukünftig in der Schweiz häufiger zu Situationen mit lokaler und regionaler Wasserknappheit kommen wird. Natürliche Seen sowie künstliche Wasserspeicher dürften somit für die Deckung temporärer Wasserknappheit an Bedeutung gewinnen. Welchen Beitrag können solche Wasserspeicher aber tatsächlich leisten?

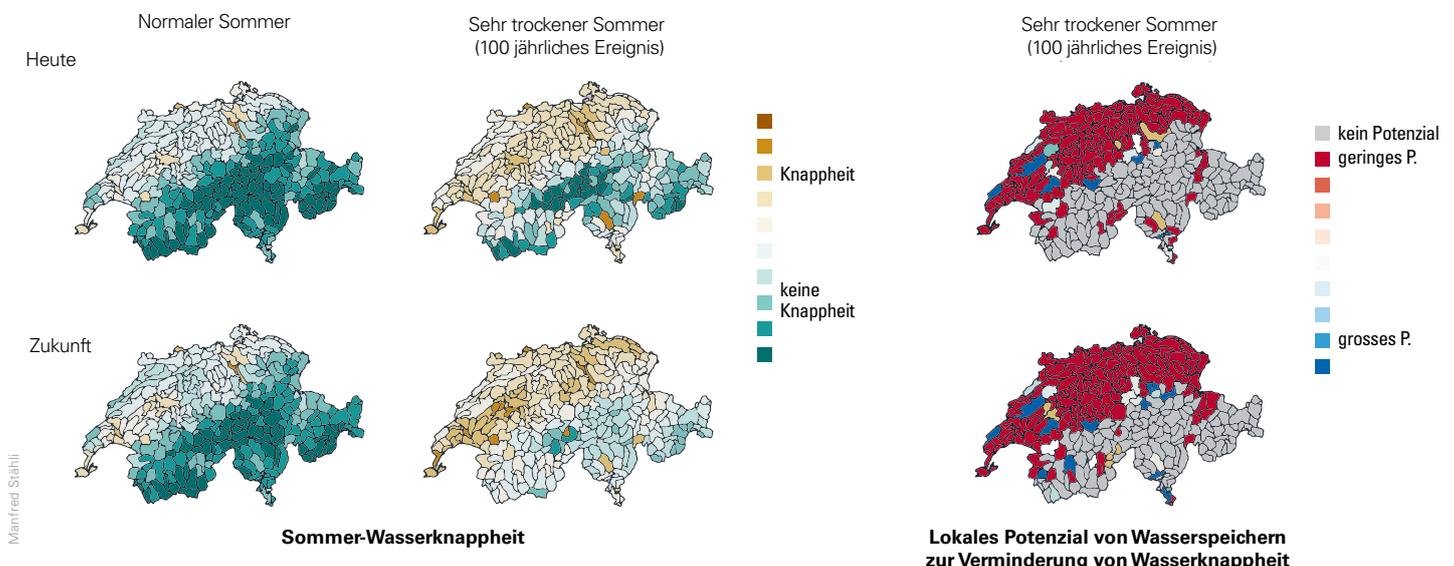
### Wasserknappheit im Sommer: Heute und in Zukunft

Stellen wir das natürliche Wasserdargebot der gesamten Wassernachfrage aller relevanten Sektoren (Landwirtschaft, Wasserkraft, Trinkwasser, Industrie, Tourismus, Ökologie) gegenüber, zeigt sich, dass in Normaljahren über den Sommer hinweg kaum Wasserknappheit besteht. In niederschlagsarmen Jahren jedoch weisen grosse Teile des Mittellands, aber auch alpine Täler, für die Sommermonate insgesamt ein Defizit auf. Diese Sommer-Wasser-

knappheit wird sich – gemäss der neuen Klimaszenarien CH2018 – gegen Ende des 21. Jahrhunderts noch verstärken. Trotz einer Vielzahl natürlicher Seen und künstlicher Speicher muss das lokale Potenzial von Wasserspeichern zur Minderung zukünftiger Sommerwasserknappheit als eher gering eingestuft werden. Dies ist einerseits dadurch zu erklären, dass die Wasserspeicher zu weit entfernt von den trockenen Hotspots liegen, wo ein erhöhter Bedarf vorliegt. Andererseits erlauben die aktuell gültigen Wehr-Reglemente der natürlichen Seen lediglich eine Nutzung von durchschnittlich 3,5 Prozent des gesamten Wasservolumens.

### Neue Wasserspeicher zur Bewältigung von Sommertrockenheit?

Aktuelle Studien im Kontext der Energiestrategie 2050 zeigen auf, dass mit der Erhöhung von bestehenden Staumauern und dem Bau von neuen Speicherseen in neu gletscherfreien Gebieten eine substantielle Vergrösserung der Wasserspeicherkapazität geschaffen werden kann. Eine regionale Betrachtung für die Grosseinzugsgebiete zeigt auf, dass solche neuen alpinen Speicherkapazitäten primär im Aare-Einzugsgebiet einen Mehrwert zur Bewältigung von Sommertrockenheit liefern würden. Für dieses Gebiet übersteigt die gesamte Wassernachfrage in besonders niederschlagsarmen Sommern das gesamte nutzbare Volumen der Seen und Speicher deutlich. Neue Wasserspeicher im Mittelland hätten den Vorteil, nahe am Ort der Wasserknappheit zu liegen. Das macht die Wasserzuleitung relativ einfach und kostengünstig. Es gibt aber bisher noch kaum Studien zu den ökologischen Auswirkungen und zur gesellschaftlichen Akzeptanz solcher neuen Speicher. Voraussetzung für einen Mehrwert neuer Speicher ist aber die Bereitschaft der verschiedenen Nutzungssektoren zu einer nachhaltigen, gut geplanten und neu geregelten Mehrzwecknutzung des gespeicherten Wassers. Der Dialog hierzu ist – spätestens seit dem Nationalen Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) – im Gang.



Sommer-Wasserknappheit heute und per Ende 21. Jahrhundert für ein normales und sehr niederschlagarmes Jahr, und das Potenzial von bestehenden Wasserspeichern, diese Wasserknappheit lokal zu mindern.



## Wie gut eignen sich Seen als Zwischenspeicher für elektrische Energie?

Pumpspeicherkraftwerke können elektrische Energie zwischenspeichern. Manche der dafür verwendeten Wasserspeicher sind natürliche Seen. Die Frage ist, wie die See-Ökosysteme auf diese Nutzung reagieren und ob sich die Auswirkungen mit dem Klimawandel verstärken werden.

Strom aus neuen erneuerbaren Quellen – also vor allem aus Wind, Biomasse und Sonne – fällt nicht immer dann an, wenn er gebraucht wird. Die Stromerzeugung von Solar- oder Windkraftwerken hängt von den aktuellen Wetterverhältnissen ab. Der überschüssige Strom muss deshalb irgendwo gespeichert werden, bis der Bedarf höher ist als die aktuelle Produktion. Pumpspeicherkraftwerke können diese Aufgabe erfüllen, indem sie Wasser von einem tiefer gelegenen in einen höher gelegenen Speicher pumpen und bei Bedarf zurück turbinieren, um wieder Strom zu generieren. Der Gesamtwirkungsgrad der Energiespeicherung liegt bei etwa 80 Prozent – also geht etwa ein Fünftel der Energie bei den Umwandlungsprozessen verloren.

### Auswirkungen auf Seen

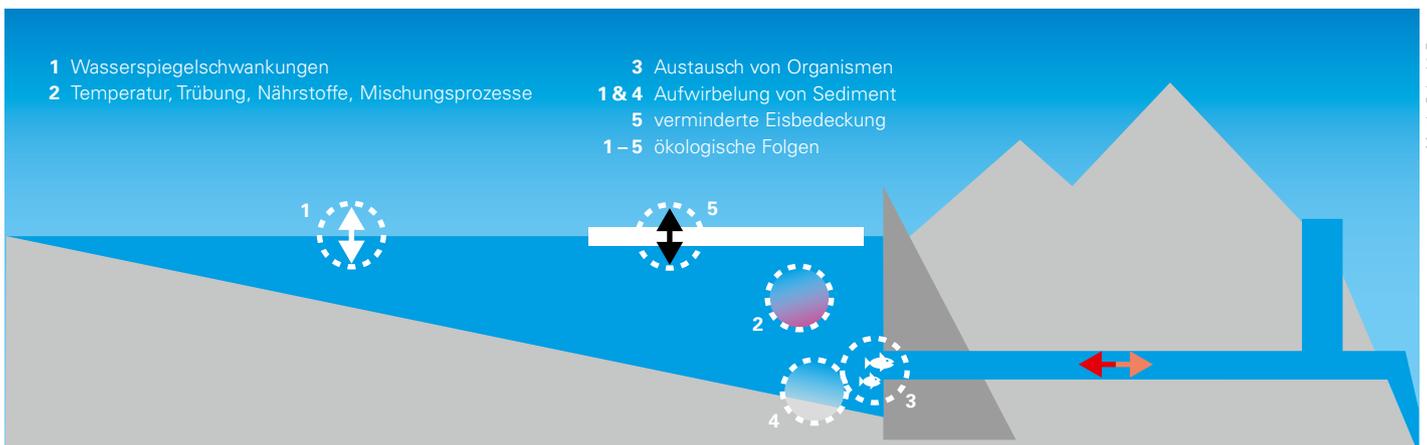
Wenn natürliche Seen durch ein Pumpspeicherkraftwerk genutzt werden, ist es wichtig, die Auswirkungen für die Seeökosysteme zu kennen. Die direkte Folge eines Pumpspeicherbetriebs sind Seespiegelschwankungen, die in natürlichen Seen zum Schutz der ufernahen Lebensräume auf ein geringes Mass zu begrenzen sind. Der Pumpspeicherbetrieb kann auch Auswirkungen auf die Wasserqualität haben. Dafür gibt es drei verschiedene Ursachen. Erstens wird Wasser ausgetauscht. So kann beispielsweise Wasser mit hohen Partikelkonzentrationen, sogenannte Gletschermilch, aus einem See in einen anderen turbiniert werden und dort zu erhöhter Trübung führen. Oder Nährstoffe können aus einem nährstoffreichen in einen nährstoffarmen See gelangen und dort das Algenwachstum fördern. Zweitens wird das Wasser aus dem höher liegenden See üblicherweise nahe am Grund entnommen. Im

Vergleich zu einem natürlichen See mit oberflächlichem Abfluss wird dadurch die Schichtung im See und die saisonale Mischung verändert - und damit auch der Lebensraum der Organismen. Und drittens wird bei intensivem Pumpspeicherbetrieb über grosse Höhendifferenzen das Wasser in den Druckleitungen durch Reibung erwärmt. Das erwärmt schliesslich auch die verbundenen Seen. Wie gross die Auswirkungen tatsächlich sind, können Modellrechnungen mithilfe von Beobachtungen des aktuellen Zustands der Seen sowie Szenarien für den Pumpspeicherbetrieb abschätzen.

### Einfluss des Klimawandels

Pumpspeicherkraftwerke werden für eine Betriebsdauer von vielen Jahrzehnten geplant und konzessioniert. Nach den Klimaszenarien CH2018 müssen wir im Vergleich zum Referenzzeitraum von 1981 bis 2010 bis Ende des 21. Jahrhunderts in der Schweiz ohne Klimaschutz mit einer Zunahme der Lufttemperatur von 3,3 bis 5,4 Grad Celsius rechnen. Und selbst bei konsequentem Klimaschutz erwärmt sich die Luft zwischen 0,6 bis 1,9 Grad Celsius. Diese Erwärmung kann auch zu markanten Veränderungen in den Seen führen, zum Beispiel zu höheren Wassertemperaturen, längerer Sommerschichtung, weniger intensiver Mischung im Winter und tieferen Sauerstoffkonzentrationen.

Unsere Fallbeispiele zeigen, dass die Auswirkungen eines Pumpspeicherkraftwerks auf einen See durch den Klimawandel verstärkt oder abgeschwächt werden können. Beispielsweise kann die Dauer der Eisbedeckung auf einem See sowohl durch die Klimaerwärmung wie auch durch den Pumpspeicherbetrieb verkürzt werden. Oder die Tiefenwasserentnahme aus einem See kann zu weniger häufigem Auftreten von sauerstoffarmen Zuständen im Tiefenwasser führen, während die Klimaerwärmung solche Sauerstoffknappheit eher begünstigt. Deshalb müssen bei der Beurteilung eines Kraftwerks, zum Beispiel im Rahmen einer Neukonzessionierung, auch die erwarteten Veränderungen aufgrund des Klimawandels berücksichtigt werden.



Übersicht über die möglichen Auswirkungen eines Pumpspeicherkraftwerks auf einen See.



## Akzeptanz erneuerbarer Energie

Die Realisierung der Energiewende und der Energiestrategie 2050 hängt nicht zuletzt von der Unterstützung der Bevölkerung sowie den EntscheidungsträgerInnen in Kantonen und Gemeinden ab. Unsere Forschungsergebnisse zeigen auf, dass verschiedene erneuerbare Energieträger unterschiedlich gut ankommen und dass deren Akzeptanz bei Bevölkerung und Behörden zum Teil stark variiert.

Die Energiestrategie 2050 zielt auf einen Ausbau der erneuerbaren Energien ab. Die Grosswasserkraft soll um fast 10 Prozent expandiert werden, während dem dreimal mehr auf so genannte «neue» Erneuerbare wie Kleinwasserkraft, Wind, Solar oder Geothermie bis im Jahr 2035 gesetzt werden soll. Es gibt verschiedene sozioökonomische und politische Faktoren, die helfen oder verhindern, diese Ziele zu erreichen. In der Abteilung Umweltsozialwissenschaften der Eawag und im Rahmen des Schweizer Kompetenzzentrums für Energieforschung (SCCER) und Nationalfondsprojekten wurden Faktoren untersucht, die den Ausbau der Erneuerbaren beeinflussen.

### PolitikerInnen und Bevölkerung in Forschung einbeziehen

Oft wird die Grosswasserkraft separat von den «neuen» erneuerbaren Energieträgern angeschaut. Die Forschung der Eawag allerdings bringt alle erneuerbaren Energieträger zusammen. Zudem wird die Akzeptanz von erneuerbaren Energieträgern meist unabhängig von der politischen Akzeptanz betrachtet. Schlussendlich analysieren SozialwissenschaftlerInnen entweder PolitikerInnen, andere EntscheidungsträgerInnen und MeinungsbildnerInnen (sogenannte «politische Eliten») oder die Bevölkerung. In der Praxis ist es jedoch so, dass die Erreichung energiepolitischer Ziele von den Präferenzen aller Akteure abhängt. Der Föderalismus und die direktdemokratischen Instrumente sorgen für diese Konstellation. Während politische Eliten die Politikinstrumente entwickeln, gestalten und umsetzen, sind es die Bürgerinnen und Bürger, die in unserem System das letzte Wort

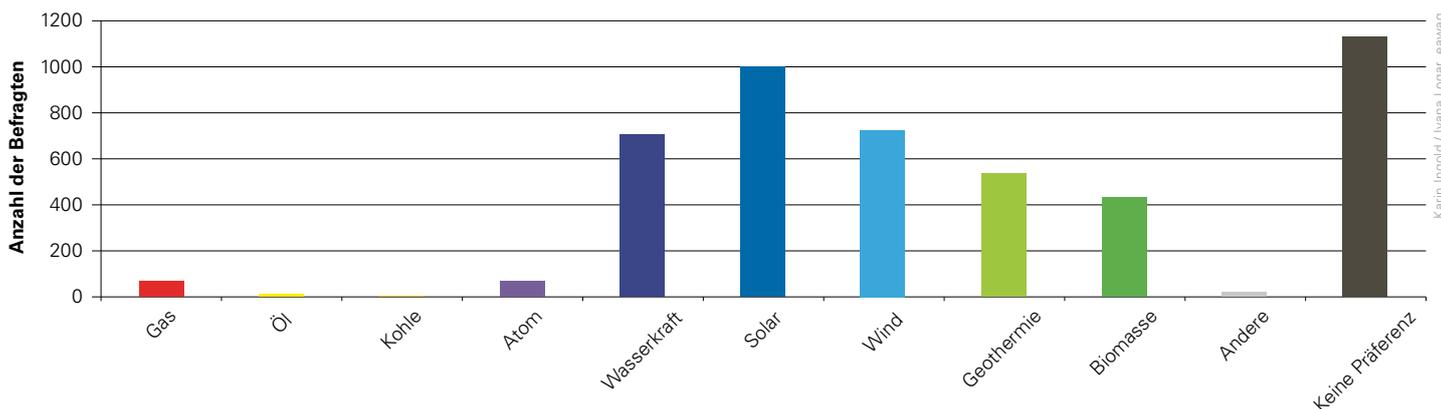
haben und an der Urne entscheiden. Die direktdemokratischen Rechte wirken dabei nicht erst am Schluss des Gestaltungsprozesses, im Gegenteil. Behörden müssen bei der Gestaltung der Politik obligatorische wie fakultative Referenden einbeziehen. Aus diesem Grund betrachtet die Eawag die Präferenzen beider, der Behörden sowie der Bevölkerung.

### Wichtigste Resultate und Erkenntnisse

Unsere repräsentative Bevölkerungsumfrage zeigte, dass die grosse Mehrheit der Befragten einen Ausbau der Grosswasserkraft befürworten würden, was sich an der Urne im Mai 2017 bestätigt hat. Die meisten Befragten stehen dem Atomausstieg positiv gegenüber. Sie befürworten auch den Ausbau der Erneuerbaren. Dabei sind die «neuen» Erneuerbaren wie Wind und Solar am beliebtesten, gefolgt von Grosswasserkraft. Nuklearenergie wird Öl und Kohle vorgezogen.

Wenn sich die Frage stellt, wer diesen Ausbau bezahlen soll, sind die Befragten durchaus bereit für den Ausbau der Grosswasserkraft zu bezahlen. Bei schon bestehenden Grosswasserkraftanlagen ist dies ist am häufigsten der Fall, da dort potenzielle negative Effekte auf Umwelt und Landschaft reduziert werden können. Bei den «neuen» Erneuerbaren zeigt sich ein durchzogeneres Bild: Zwar besteht eine allgemeine Akzeptanz, dennoch gibt es verschiedene konkrete Anlagen, die an der Gemeindeurne oder aufgrund von Einsprüchen der lokalen Bevölkerung scheitern.

Von unseren Resultaten lässt sich ableiten, dass es für den Ausbau erneuerbarer Energien einen gemeinsamen Nenner gibt: Eine energiepolitische Vorlage darf nicht zu viel kosten. Für den Ausbau der Grosswasserkraft ist die Schweizer Bevölkerung durchaus bereit zu bezahlen. In der aktuellen Situation, in der der Bund mit der kostenorientierten Einspeisevergütung (KEV) die Erneuerbaren fördert, scheinen auch Subventionen relativ attraktiv.



Präferenzen der Bevölkerung für verschiedene Energiequellen



## Sanieren, revitalisieren - gemeinsam durch Planung und Umsetzung

«Beneidenswert», «visionär» und «weltweit einmalig» – so reagieren viele Gewässerfachleute aus dem Ausland, wenn sie vom Schweizer Renaturierungsvorhaben hören. Mit Recht, denn die Ziele der revidierten Gewässerschutzgesetzgebung sind durchaus ehrgeizig.

Bis 2030 sollen die negativen ökologischen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung saniert werden (Fischgängigkeit, Geschiebehaushalt, Schwall-Sunk); bis 2090 sind 4'000 Kilometer Fließgewässer und Seeufer zu revitalisieren. Die Aufwertungen werden sich bis zum Ablauf der genannten Fristen auf Kosten von ca. 6 Milliarden Schweizer Franken belaufen. Für einen möglichst wirkungsvollen Einsatz dieser Ressourcen ist ein aktiver, kontinuierlicher Lernprozess sowie eine enge Zusammenarbeit aller Akteure aus Praxis und Wissenschaft nötig (Abb. 1). Welche vielfältige Rolle die Forschung dabei spielen kann zeigen die drei folgenden Beispiele.

### Wirkungskontrollen mit Wirkung

Wie hat sich ein Flussabschnitt seit der Revitalisierung verändert und warum? Dies lässt sich auf zwei Ebenen aus Wirkungskontrollen lernen: von eigenen Erfahrungen auf Projektebene oder von Erfahrungen anderer, also projektübergreifend. Ursächlichkeiten (Warum-Fragen) lassen sich oft nur projektübergreifend anschauen, z.B., wenn man Projekte mit unterschiedlicher Landnutzung im Einzugsgebiet vergleicht.

Das Lernen auf Projektebene wird in der Schweiz gut genutzt; das projektübergreifende Lernen dagegen ist kaum möglich, da die Daten aus den projektspezifischen Wirkungskontrollen sehr heterogen und damit kaum vergleichbar sind.

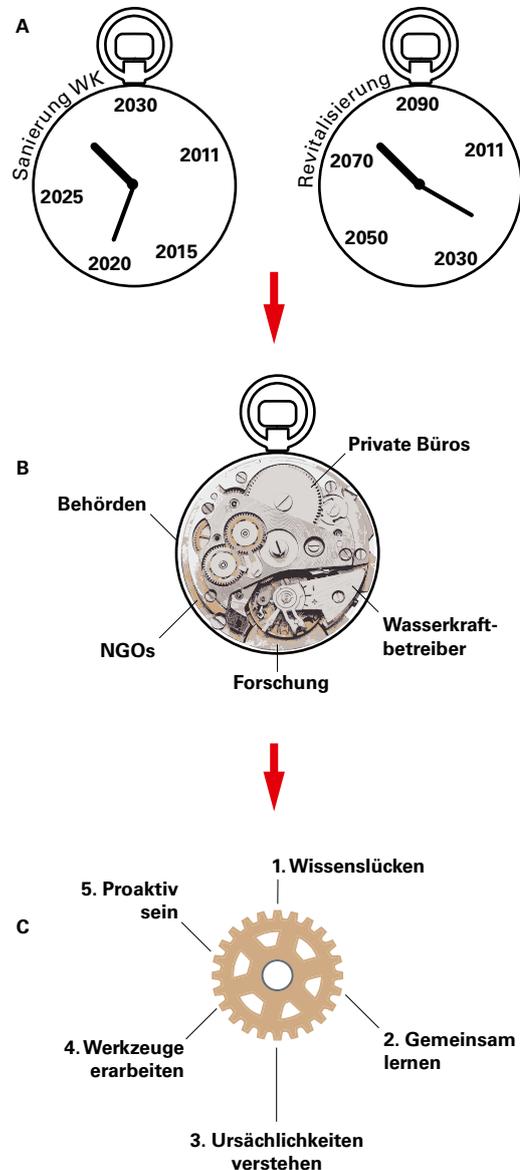
Seit 2015 entwickeln wir an der Eawag ein Konzept für eine schweizweit abgestimmte Wirkungskontrolle Revitalisierung, im Auftrag des BAFU und in engem Austausch mit drei Begleitgruppen. Das Konzept tritt ab 2020 in Kraft und sieht eine einheitliche Wirkungskontrolle in Abhängigkeit der Projektgrösse vor. Durch die homogenere Datengrundlage lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen für zukünftige Projekte formulieren und Akteure und Öffentlichkeit über die Entwicklung der Revitalisierungen informieren.

### Die Rolling Stones und die Ökologie

Das Forschungsprogramm Wasserbau und Ökologie ist eine transdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen vier Schweizer Forschungsinstitutionen und dem BAFU. Gemeinsam mit den Partnern erarbeitet die Eawag Grundlagen zur Beantwortung aktueller Praxisfragen. Derzeit liegt der Forschungsschwerpunkt auf dem Geschiebehaushalt und insbesondere dem Fehlen von Geschiebe aufgrund von Kanalisierung, Wasserkraftnutzung und Gefahrenprävention. Die Flussbauer entwickeln Massnahmen, mit denen sich das Geschiebe an Stauanlagen durchleiten oder flussabwärts anreichern lässt. Die Ökologen untersuchen die Auswirkungen von Geschiebedefizit und Aufwertungsmassnahmen auf das Lebensraumangebot in Auen und auf das Nahrungsnetz. Wir nutzen Feldaufnahmen und arbeiten mit Versuchsrinnen und Computermodellen. Die Resultate der Forschungsarbeiten veröffentlichen wir in Merkblättern, Kursen oder Handbüchern ([www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)). Das jüngste Praxispro-

dukt ist eine Merkblattsammlung rund um die Geschiebedynamik in Auen, durchgängige Geschiebesammler und Schüttungen.

Die Gewässer weltweit stehen stark unter Druck, gerade auch in intensiv genutzten Ländern wie der Schweiz. Dank der revidierten Gewässerschutzgesetzgebung bietet sich unserem Land die Chance für eine historische Aufwertung unserer Gewässer – durch adaptives Management und Engagement und Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure!



Christine Weber, Eawag

- A. Revitalisierung und Sanierung sollen bis 2090 resp. 2030 umgesetzt sein.
- B. Für eine wirkungsvolle Umsetzung braucht es ein enges Zusammenspiel der beteiligten Akteure.
- C. Die Forschung kann viele Rollen wahrnehmen (1-5; Beispiele). Im Artikel werden die Beispiele 2-4 vorgestellt.



## Restwassersanierung und Sanierung Wasserkraft im Oberhasli

Die Kraftwerke Oberhasli AG nutzen die Kraft des Wassers im Grimsel- und Sustengebiet zur bedarfsgerechten Erzeugung von jährlich rund 2'500 Gigawattstunden pro Jahr. Dies entspricht rund sieben Prozent der schweizweiten Stromproduktion aus Wasserkraft.

Die Nutzung der Wasserkraft ist mit ökologischen Beeinträchtigungen verbunden. Seit 1991 und verschärft seit 2011 gelten gemäss schweizerischem Gewässerschutzgesetz daher Vorgaben hinsichtlich folgenden Beeinträchtigungen:

- Restwasser: Restwassersanierung bei bestehenden Konzessionen, neue Bestimmung der Dotierwassermengen bei Neu- oder Wiederkonzessionierungen
- Fischgängigkeit: Gewährleistung der freien Fischwanderung durch Auf- und Abstieghilfen
- Schwall/Sunk: Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigungen der aquatischen Organismen, die durch künstliche Pegelschwankungen verursacht werden
- Geschiebe: Gewährleistung eines natürlichen Geschiebebestands

Im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus wurde die Restwassersanierung (2013) sowie die Sanierung Schwall/Sunk (2017) und Fischgängigkeit (2013) umgesetzt. Für die Geschiebesanierung des Gadmerwassers erfolgte im Jahr 2018 ein Variantenstudium mit einem konkreten Vorschlag für eine Sanierungsmassnahme.

Seit der Restwassersanierung erfolgen an insgesamt zwölf Fassungen saisonal abgestufte Dotierwasserabgaben. Aktuell laufen hierzu die Untersuchungen und Auswertungen für das Fünfjahresmonitoring.

Um die negativen Auswirkungen der künstlichen Pegelschwankungen zu mindern, wird seit 2012 das turbinierte Wasser zuerst in einen grossen Speicherstollen sowie ein kleineres Beruhigungsbecken geleitet. Von dort aus fliesst das Wasser dosiert und zeitlich verzögert in die Hasliaare, sodass sich die Reaktionszeiten für Fische und Wirbellose verlängern. Zusätzlich wurden in der Hasliaare noch morphologische Strukturen aus Totholz, Baumstämmen, Wurzelstöcken und Belebtsteingruppen auf einer Länge von 300 Metern eingebracht, um die Habitatsvielfalt zu erhöhen. Mittlerweile sind die Untersuchungen für das Monitoring nach dem ersten Jahr abgeschlossen: Die biologischen Untersuchungen zeigen bereits eine ökologische Verbesserung hinsichtlich Makrozoobenthos und Jungfischen. Die zukünftigen Erfolgskontrollen werden zeigen, ob sich dieser Trend bestätigt.

Für die Sicherstellung der Fischgängigkeit wurde 2013 ein Fischlift am Gadmerwasser in Betrieb genommen. Damit werden zwei Gewässerabschnitte mit einer Länge von 1,5 Kilometern und 3 Kilometern wieder vernetzt. Für die Erfolgskontrolle werden bei jeder

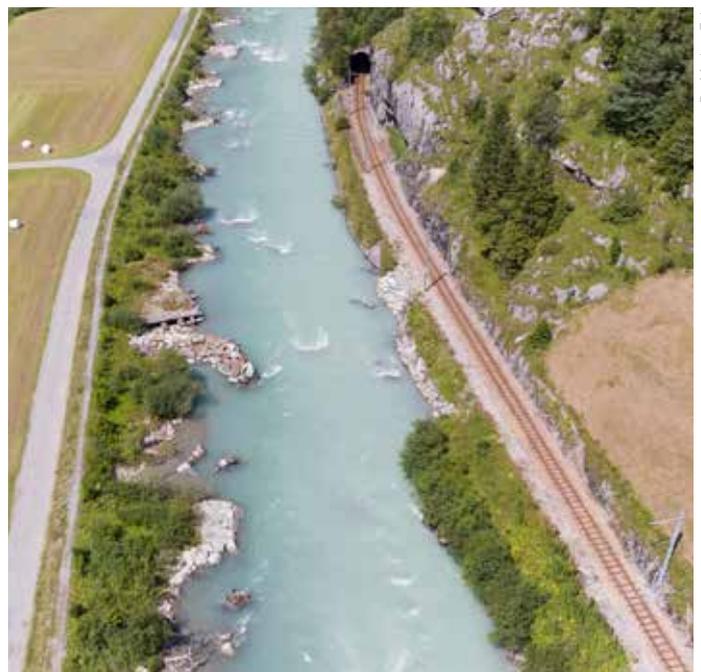


Dr. Markus Zeh

Luftbild des Beruhigungsbeckens in Innertkirchen.

Lifffahrt Fotos erstellt. Die Auswertungen zeigen, dass der Fischlift für alle Alters- und Grössenstadien funktioniert und dass die Anzahl aufgestiegener Fische in etwa dem Vorkommen im unteren Gewässerabschnitt entspricht.

Seit den 1950er Jahren betreibt die KWO einen Geschiebesammler im oberen Gadmental. Mit dem neuen Gewässerschutzgesetz muss das Geschieberegime jedoch verbessert werden. Für das Variantenstudium wurde die vorgesehene Vollzugshilfe «Geschiebesanierung» angewendet, die sich aktuell in der Vernehmlassung befindet. Mittlerweile wurde gemeinsam mit Vertretern der kantonalen Fachstellen und des Bundesamts für Umwelt eine Bestvariante ausgearbeitet (Vergrösserung des Durchlasses am Sammler). Der Sanierungsbericht liegt nun den Ämtern zur Prüfung vor.



Dr. Markus Zeh

Morphologische Aufwertungen in der Hasliaare (Schwallstrecke).



## Energie in Kläranlagen – Beispiel Klärwerk Werdhölzli

Die Stadt Zürich hat sich zum Ziel gesetzt, eine 2000-Watt-Gesellschaft zu werden. Um das zu erreichen, sind nicht nur die Einwohnerinnen und Einwohner, sondern auch alle städtischen Betriebe gefordert, Effizienzmassnahmen zu ergreifen und die erneuerbare Energieerzeugung zu erhöhen. Im Klärwerk Werdhölzli versucht man dem gerecht zu werden.

Das Klärwerk Werdhölzli reinigt das Abwasser von rund 450'000 Einwohnerinnen und Einwohnern der Stadt Zürich sowie einiger angrenzender Gemeinden. Dabei spielt Energie eine zentrale Rolle: Erstens brauchen wir Strom und Wärme, um Abwasser zu reinigen und den anfallenden Klärschlamm zu verwerten. Zweitens erzeugen diese Prozesse energiehaltige Produkte wie Klärschlamm und Klärgas, drittens möchten wir die im Abwasser enthaltene Energie möglichst optimal nutzen und viertens den Strombedarf für den Betrieb minimieren. Wir befinden uns in einem stetigen Optimierungsprozess, sowohl bezüglich der Reinigungsleistung als auch bezüglich des Energiehaushalts. Für Letzteres blicken wir gemeinsam mit Partnern über den eigenen Arealzaun hinaus und beziehen die Umgebung und Umwelt mit ein. Trotz aller Optimierungen müssen wir sicherstellen, dass die Anlage an 365 Tagen im Jahr und während 24 Stunden am Tag ohne Unterbruch und wirtschaftlich funktioniert – dafür sind Redundanzen und Rückfallebenen notwendig.

### Spannungsfeld Kläranlage

Das Energiesystem des Klärwerks ist ein komplexer Organismus mit verschiedenen Wechselwirkungen:

- Die grössten Stromverbraucher sind die biologische Reinigung und seit Herbst 2018 die neue Ozonung, die für rund 75 Prozent des Gesamtverbrauchs verantwortlich sind. Allerdings dürfen wir im Zuge der Optimierung nicht blind den Stromverbrauch senken, sondern müssen auch Aspekte wie die Lachgasproduktion im Blick behalten.
- Während der mesophilen Faulung des Klärschlammes produzieren wir Klärgas. Dieses wurde bis Mitte 2013 in Blockheizkraftwerken verwertet, um Wärme und Strom zu erzeugen. Im Sommer sinkt der Wärmeverbrauch. Somit entsteht ein Wärmeüberschuss und das Klärgas wurde nicht optimal genutzt. Seit Mitte 2013 wird das Klärgas mit Faulgas aus dem angrenzenden Vergärwerk von der Biogas Zürich AG aufbereitet und ins städtische Gasnetz eingespeist. Dafür musste aber die Wärmerversorgung umgestellt werden.
- Seit Mitte 2015 wird der entwässerte Klärschlamm des Kantons Zürich in der Klärschlammverwertungsanlage (KSV) Werdhölzli verbrannt. Dabei entstehen Strom – ungefähr der Eigenbedarf der KSV – und Wärme. Ein Grossteil der Wärme wird für die Vortrocknung des entwässerten Klärschlammes genutzt, damit dieser autark brennt. Zudem wird Wärme für den Betrieb des Klärwerks und der Anlagen der Biogas Zürich AG abgegeben. Rund ein Viertel der Wärme kann aber noch nicht genutzt werden und wird derzeit rückgekühlt.

Abwasser enthält chemisch gebundene Energie und Wärmeenergie. Während erstere weitgehend genutzt wird, erhält die Wärmeenergie in der Schweiz noch zu wenig Beachtung. Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) war ein Pionier in der Nutzung der Abwasserwärme: Seit rund zehn Jahren betreibt das ewz ein Fernwärmenetz und bezieht die dafür notwendige Energie aus dem gereinigten Abwasser des Klärwerks. Mit dem neuen Energieverbund Altstetten-Höngg werden der Wärmegehalt des Abwassers sowie die Abwärme der KSV ab 2020 für Heizung und Kühlung noch besser genutzt. Im Endausbau werden über zwölf Millionen Liter Heizöl eingespart. Im Auge zu behalten sind jedoch die Auswirkungen auf die Gewässertemperatur der Limmat, wenn im Sommer mehr Kälte bezogen und das Abwasser erwärmt wird.



Das Klärwerk Werdhölzli in Zürich.



## Potenzial und Grenzen der Wärmenutzung aus Flüssen und Seen

Die mittleren und grossen Seen und Flüsse der Schweiz weisen ein hohes Nutzungspotenzial auf, um Gebäude im Winter zu heizen und im Sommer zu kühlen. In Luzern etwa soll in Zukunft der Vierwaldstättersee beträchtliche Mengen CO<sub>2</sub>-freie Wärmeenergie liefern.

Im Jahr 1938 hat die Stadt Zürich die erste Flusswärmepumpe der Schweiz in Betrieb genommen. Doch lange blieb die Anzahl solcher Anlagen wegen den tiefen Erdölpreisen klein. Erst die Diskussionen zur Energiewende haben das Interesse an der CO<sub>2</sub>-freien Nutzung von Gewässern zu Heiz- und Kühlzwecken wieder entfacht.

### Das Potenzial für Wärme ist enorm

Das Prinzip zur Nutzung von Umweltwärme ist einfach: Mit elektrischer Energie wird dem Wasser oder der Luft mittels Wärmepumpen Energie entzogen. Das abgekühlte Medium – also das Wasser oder die Luft – wird anschliessend wieder an die Umwelt zurückgegeben.

Nimmt man an, dass eine Person im Winter etwa 1 bis 2 Kilowatt an Wärmebedarf aufweist und eine Abkühlung der Gewässer um 0,5 Grad Celsius akzeptabel ist, lässt sich für die an Gewässern liegenden Schweizer Gemeinden das Potenzial der Nutzung abschätzen. Dabei zeigt sich, dass das Potenzial den Bedarf in allen Gemeinden um die mittleren bis grossen Schweizer Seen übertrifft. Dies gilt ebenfalls für die grossen Flüsse wie Rhone, Aare, Rhein, Limmat, Reuss und viele mehr. Ob sich auch kleinere Flüsse eignen, hängt vor allem davon ab, wie hoch die Abflüsse im Winter sind und wie tief die Temperaturen absinken. Dieselben Überlegungen lassen sich auch für die Kältenutzung im Sommer durchführen. Da der Bedarf nach Kälte fünf- bis zehnmal geringer ist als für Wärme, eignen sich entsprechend noch mehr Gewässer für die Kältenutzung. Kritisch wird die Kühlung mittels Wasser aber, wenn sich Gewässer dadurch zu stark erwärmen. Vor allem im Zuge der Klimaerwärmung müssen diese Folgen für Ökosysteme berücksichtigt werden.

Noch basieren in der Schweiz die grossen Gewässeranlagen auf der Nutzung von Seewasser. Denn Seewasser weist relativ verlässlich vorhersagbare und nur langsam variierende Temperaturen auf. Zudem wird das Seewasser üblicherweise in 20 bis 40 Metern Tiefe gefasst, wo die Temperaturen konstant zwischen vier bis zehn Grad Celsius liegen und wo sich, im Vergleich zur Oberfläche, nur wenig Plankton befindet. All das erleichtert den Betrieb der Anlagen.

### Wärmeverbund Horw-Kriens

ewl energie wasser luzern hat sich zum Ziel gesetzt, eine möglichst CO<sub>2</sub>-arme Wärmeversorgung zu gestalten. Neben Abwärmequellen, wie die Kehrlichtverbrennungsanlage in Perlen, setzt ewl rund um den Vierwaldstättersee auf Seewasser als Wärmequelle. Mit Projekten in Luzern, Horw und Kriens werden in Zukunft jährlich rund 80 Gigawattstunden (GWh) Wärme und rund 10 GWh Kälte produziert. Durch die Klimaerwärmung, moderne Architektur und die zunehmende Verdichtung wird die Kältenachfrage steigen – mit Seewasser würden sich Kühlanwendungen jedoch energieeffizient realisieren lassen.

Eine solche Kühlanlage befindet sich in der Bucht bei Horw, wo Seewasser in einer Tiefe von 40 Metern mit einer Temperatur zwischen vier bis zehn Grad Celsius entnommen wird. Das heisst, im Winter steht für Heizzwecke eine maximale Temperaturdifferenz von vier Grad zur Verfügung. Dies stellt hohe Ansprüche an die eingesetzte Technik. Denn einerseits muss man mit einer kleinen Temperaturdifferenz hohe Temperaturen für das Brauchwarmwasser zur Verfügung stellen und andererseits bewegt man sich nahe am Gefrierpunkt von Wasser. Auch ist die Energiedichte gering, weshalb viel Wasser transportiert werden muss. Weil grosse Wasserleitungen hohe Investitionen voraussetzen, ist der entscheidende Faktor eine möglichst hohe Kundendichte, was sich meist nur in urbanen Gebieten erzielen lässt. Funktionierende und wirtschaftliche Systeme aufzubauen ist deshalb die grosse Herausforderung bei Seewasserprojekten.



- Versorgungsgebiet Horw und Kriens
- Versorgungsgebiet Luzern
- Versorgungsgebiet geplant



Drei ewl-Wärmeversorgungsgebiete (im Betrieb, im Bau und geplant) im Raum Luzern. Der Einschub zeigt die Horwerbucht, aus der das Versorgungsgebiet Horw-Kriens (gelb) gespeist wird.

Die Eawag ist das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs. Rund 500 Mitarbeitende sind an den Standorten Dübendorf bei Zürich und Kastanienbaum bei Luzern tätig. Neben ihrem Engagement in der Forschung wirkt die Eawag auch in Lehre und Beratung und schlägt damit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis. [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Impressum

Redaktion: Simone Kral

Grafik und Layout: Peter Penicka

Eawag, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf

Telefon +41 (0)58 765 55 11

Eawag, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum

Telefon +41 (0)58 765 21 11

[info@eawag.ch](mailto:info@eawag.ch)

[eawag.ch](http://eawag.ch)

Eawag  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf  
Telefon +41 (0)58 765 55 11  
info@eawag.ch  
www.eawag.ch

